



Universidad  
del Atlántico

CÓDIGO: FOR-DO-109

VERSIÓN: 0

FECHA: 03/06/2020

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL  
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, 27 de Junio de 2021

Señores

**DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS**

Universidad del Atlántico

**Asunto: Autorización Trabajo de Grado**

Cordial saludo,

Yo, **ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA**, identificado(a) con **C.C. No. 1.047.221.152** de **GALAPA**, autor(a) del trabajo de grado titulado **COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO** presentado y aprobado en el año **2021** como requisito para optar al título Profesional de **QUÍMICO**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,

Firma

**ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA**

**C.C. No. 1.047.221.152 de GALAPA**

**DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO**

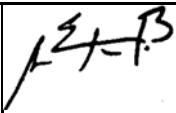
*Este documento debe ser diligenciado de manera clara y completa, sin tachaduras o enmendaduras y las firmas consignadas deben corresponder al (los) autor (es) identificado en el mismo.*

Puerto Colombia, **27 de Junio de 2021**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

Título del trabajo académico:	COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO
Programa académico:	QUIMICO

Firma de Autor 1:							
Nombres y Apellidos:	ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA						
Documento de Identificación:	CC	X	CE		PA	Número:	1.047.221.152
Nacionalidad:	COLOMBIANA				Lugar de residencia:		
Dirección de residencia:	CARRERA 21 A # 68-33						
Teléfono:					Celular:	3017277765	



**FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO**

<b>TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO</b>	<b>COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO</b>
<b>AUTOR(A) (ES)</b>	<b>ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA</b>
<b>DIRECTOR (A)</b>	<b>JUDITH CECILIA GRANADOS REYES</b>
<b>JURADOS</b>	<b>HANAEL OJEDA MORENO SANDRA MILENA ARTETA REYES</b>
<b>TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE</b>	<b>QUÍMICO</b>
<b>PROGRAMA</b>	<b>QUÍMICA</b>
<b>PREGRADO / POSTGRADO</b>	<b>PREGRADO</b>
<b>FACULTAD</b>	<b>CIENCIAS BÁSICAS</b>
<b>SEDE INSTITUCIONAL</b>	<b>SEDE NORTE</b>
<b>AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO</b>	<b>2021</b>
<b>NUMERO DE PAGINAS</b>	<b>62</b>
<b>TIPO DE ILUSTRACIONES</b>	<b>TABLAS, GRÁFICOS</b>
<b>MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)</b>	<b>NO APLICA</b>
<b>PREMIO O RECONOCIMIENTO</b>	<b>NO APLICA</b>



**COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA,  
CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN  
DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO**

**ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA  
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE QUÍMICO**

**PROGRAMA DE QUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO  
PUERTO COLOMBIA  
2020**



**COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL  
AGUA, CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE  
MALLORQUÍN DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO**

**ANTENOR ELÍAS AHUMADA BARRAZA  
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE QUÍMICO**

**JUDITH CECILIA GRANADOS REYES  
DRA. CIENCIA Y TEGNOLOGÍA QUÍMICA**

**PROGRAMA DE QUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BAÁSICAS  
UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO  
PUERTO COLOMBIA**

**2020**

NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

DIRECTOR(A)

---

JURADO(A)S

---

---

## **DEDICATORIA**

A Dios por regalarme la vida y permitirme llegar hasta este punto de la vida.

A mis padres Antenor Enrique Ahumada Pacheco y Amanda del Rosario Barraza Estrada por su apoyo incondicional, por enseñarme las bases necesarias con la cual pude elegir esta carrera, por su tiempo, dedicación y confianza que me ayudaron a lograr obtener este título.

A mi esposa Mónica Inés Gutiérrez Rodríguez por estar a mi lado en este proceso, y brindarme el apoyo, la confianza, perseverancia, empuje para lograr este objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor de este proyecto le agradece a:

JUDITH CECILIA GRANADOS REYES por su dedicación y entrega en la dirección de este proyecto.



# **COMPARACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CAPACIDAD BUFFER E INDICE DE LANGELIER EN LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN DURANTE LA ÉPOCA SECA Y HUMEDA DEL AÑO**

## **RESUMEN**

Los distintos cuerpos de agua, ya sea dulce o salada, están en una constante contaminación en los últimos años, causando graves alteraciones a los ecosistemas que se hallan a los alrededores de los cuerpos de agua y del medio ambiente en general, por este motivo es importante preservarlos. Una de las tantas formas de preservar los cuerpos de agua es realizando tratamiento al agua residual por distintos tipos de sistemas, otra forma es predecir la recuperación del cuerpo de agua por medio de la modelación de parámetros contaminantes y tóxicos.

Con este trabajo investigativo se pretende contribuir en la generación de conocimiento acerca de los procesos en los cuerpos de agua costeros, como la ciénaga Mallorquín, a través del cálculo de los índices de calidad del agua (utilizando el sistema de Indicadores Hídricos, por intervención Antrópica ICA, propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)), donde se encontraron estos índices estaban en la categoría Mala con valores entre 0,33 y 0,46 en la época de lluvia; y valores entre 0,33 y 0,41 en la época de estiaje presentando el valor alto en la época húmeda en el punto 3. Así como los índices de contaminación, (ICOMO, ICOMI, ICOTRO, ICOSUS) donde los índices de contaminación por materia orgánica y minerales tienen índice Muy alta, con valores de ICOMO entre 0,66 y 0,87 en la época húmeda, y 0,66 y 1,00 en la época seca; tanto el ICOMI con valores de 0,79 y 0,92 en la época húmeda, y 0,86 y 0,95 en la época seca; el índice de contaminación por sólidos Suspendidos en índice bajo y ninguno, con valores de 0,04 y 0,34 en la época húmeda y 0,00 y 0,22 en la época de estiaje; tanto que el índice de contaminación trófico en nivel Hipereutrófico para todos los puntos en ambas épocas de

medición; sin dejar de lado la determinación de Capacidad Buffer con valores de en  $9,03 \times 10^{-05}$  y  $3,39 \times 10^{-04}$  en la época húmeda y los valores en el rango  $8,94 \times 10^{-05}$  y  $2,72 \times 10^{-04}$  en la época de estiaje y el índice de Langelier donde en la época húmeda registraron valores en el rango de 0,391 y 1,282; tanto en la época seca el rango varió de 0,599 y 1,417. Esta información permitirá llevar un consolidado histórico para futuras investigaciones, además, de mostrar el estado actual de la ciénaga de Mallorquín en materia de calidad sostenible de la misma.

**Palabras claves:** Índice de Calidad, índice de contaminación, Ciénaga de Mallorquín, índice de Langelier, Capacidad Buffer

#### **ABSTRACT**

The different bodies of water, whether fresh or salty, have been in constant contamination in recent years, causing severe alterations to the ecosystems that are around the bodies of water and the environment in general. For this reason, it is essential to preserve them. One of the many ways to keep water bodies is to treat wastewater by different types of systems. Another way is to predict the recovery of the water body through the modeling of polluting and toxic parameters.

This research work aims to contribute to the generation of knowledge about the processes in coastal bodies of water. For example, as the Mallorquín swamp. through the calculation of water quality indices. (Using the Water Indicators system, by Anthropic intervention ICA. proposed by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM)), These indices found were in the Bad category with values between 0.33 and 0.46 in the rainy season; and values between 0.33 and 0.41 in the dry season, presenting the high value in the wet season at point 3. As well as the contamination indices, (ICOMO, ICOMI, ICOTRO, ICOSUS) where the contamination indices by organic matter and minerals have a Very high index, with ICOMO values between 0.66 and 0.87 in the wet season, and 0.66 and 1.00 in the dry season; both the ICOMI with values of 0.79 and 0.92 in the wet season, and 0.86 and 0.95 in the dry season; the Suspended solids contamination index is low and none, with values of 0.04 and 0.34 in the wet season and 0.00 and 0.22 in the dry season; so much so that the trophic contamination index at the Hypereutrophic level for all points in both measurement periods; without neglecting the determination of Buffer Capacity with values of  $9.03 \times 10^{-05}$  and  $3.39 \times 10^{-04}$  in the wet season and values in the range

$8.94 \times 10^{-05}$  and  $2.72 \times 10^{-04}$  in the dry season and the Langelier index where in the wet season they registered values in the range of 0.391 and 1.282; both in the dry season the interval varied from 0.599 to 1.417. This information will allow a historical consolidation for future research. In addition to showing the current state of the Mallorquín swamp in terms of its sustainable quality.

**KEY WORDS:** Quality Index, Pollution Index, Ciénaga de Mallorquín, Langelier Index, Buffer Capacity

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>2.</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA</b> .....	24
<b>2.1</b>	<b>AREA DE ESTUDIO (CIENÁGA DE MALLORQUÍN)</b> .....	25
<b>2.2</b>	<b>INDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA</b> .....	26
2.2.1	Cálculo de Índice de Calidad del Agua ICA .....	26
<b>2.3</b>	<b>ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (ICO's)</b> .....	31
2.3.1	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) .....	33
2.3.2	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) .....	34
2.3.3	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) .....	35
2.3.4	Índice de contaminación trófico (ICOTRO) .....	35
<b>2.4</b>	<b>CAPACIDAD BUFFER</b> .....	36
<b>2.5</b>	<b>INDICE DE LANGELIER</b> .....	38
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	39
<b>3.1</b>	<b>RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA</b> .....	39
<b>3.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL AGUA</b> .....	40
<b>3.3</b>	<b>CÁLCULO DE ÍNDICE DE CALIDAD</b> .....	41
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	42
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA</b> .....	42
<b>4.2</b>	<b>INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)</b> .....	45
<b>4.3</b>	<b>INDICE DE CONTAMINACION</b> .....	48
4.3.1	Índice De Contaminación Por Materia Orgánica .....	48
4.3.2	Índice De Contaminación Por Minerales .....	51
4.3.3	Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos .....	53
4.3.4	Índice de Contaminación Trófico.....	55

<b>4.4</b>	<b>CAPACIDAD BUFFER</b> .....	<b>56</b>
<b>4.5</b>	<b>INDICE DE LANGELIER</b> .....	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>62</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables .....	28
Tabla 2. Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables .....	28
Tabla 3. Significancia de los índices de contaminación (ICO) .....	32
Tabla 4. Clasificación de Categorías según concentración del fósforo .....	36
Tabla 5. Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total para la estabilidad de la vida acuática .....	37
Tabla 6. Puntos de toma de muestra .....	39
Tabla 7. Guía de métodos para cada parámetro a analizado .....	41
Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio en temporada húmeda .....	42
Tabla 9. Resultados de los análisis de laboratorio en temporada seca .....	43
Tabla 10. Cálculo de índice de Calidad del Agua en la ciénaga de Mallorca en época húmeda .....	45
Tabla 11. Cálculo de índice de Calidad del Agua en la ciénaga de Mallorca en época seca .....	46
Tabla 12. Resultados del Índice de Contaminación por materia orgánica en la ciénaga de Mallorca época húmeda .....	48
Tabla 13. Resultados del Índice de Contaminación por materia orgánica en la ciénaga de Mallorca época seca .....	49
Tabla 14. Resultados del Índice de Contaminación por minerales en la ciénaga de Mallorca época húmeda.....	51
Tabla 15. Resultados del Índice de Contaminación por minerales en la ciénaga de Mallorca época seca .....	52
Tabla 16. Resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos en la ciénaga de Mallorca época húmeda .....	53

Tabla 17. Resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos en la ciénaga de Mallorca época seca .....	54
Tabla 18. Resultados del Índice de Contaminación Trófico en la ciénaga de Mallorca época húmeda.....	55
Tabla 19. Resultados del Índice de Contaminación Trófico en la ciénaga de Mallorca época seca .....	55
Tabla 20. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorca en época húmeda. ....	56
Tabla 21. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorca en época seca. ....	56
Tabla 22. Resultados del Índice de Langelier de la ciénaga de Mallorca en época húmeda.....	58
Tabla 23. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorca época seca .....	59

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación Aproximada de los puntos monitoreados. ....	40
Figura 2. Representación gráfica de los valores de índice de calidad del agua (ICA) en la ciénaga de Mallorcaín .....	47
Figura 3. Representación gráfica de los valores de Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en la ciénaga de Mallorcaín .....	50
Figura 4. Representación gráfica de los valores de Índice de contaminación por Minerales (ICOMI) en la ciénaga de Mallorcaín .....	52
Figura 5 Representación gráfica de los valores de Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en la ciénaga de Mallorcaín .....	54
Figura 6. Representación gráfica de los valores de capacidad buffer en la ciénaga de Mallorcaín .....	57



## LISTA DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Fórmula general del cálculo de ICA .....	27
Ecuación 2. Cálculo ICA promedio .....	27
Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de saturación del Oxígeno .....	29
Ecuación 4. Cálculo del ICA de Oxígeno cuando el porcentaje (%) de saturación es menor al 100% .....	29
Ecuación 5. Cálculo del ICA de Oxígeno cuando el porcentaje (%) de saturación es mayor al 100% .....	29
Ecuación 6. Cálculo del ICA de SST .....	29
Ecuación 7. Cálculo del ICA de Conductividad eléctrica .....	30
Ecuación 8. Cálculo de ICA pH entre 4 y 7 .....	31
Ecuación 9. Cálculo de ICA pH entre 8 y 11 .....	31
Ecuación 10. Determinación de Índice de Contaminación por mineralización .....	33

Ecuación 11. Determinación de Índice de conductividad.....	33
Ecuación 12. Determinación de Índice de Dureza .....	33
Ecuación 13. Determinación de Índice de Alcalinidad .....	34
Ecuación 14. Determinación de Índice de Contaminación por Materia Orgánica.....	34
Ecuación 15. Determinación de Índice de DBO.....	34
Ecuación 16. Determinación de Índice de Coliformes totales .....	34
Ecuación 17. Determinación de Índice de % de oxígeno.....	35
Ecuación 18. Determinación de Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos.....	35
Ecuación 19. Determinación de Capacidad Buffer .....	37
Ecuación 20. Determinación del Índice de Langelier .....	38

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país rico hidrográficamente, cuenta en su territorio con un área superior a 1'000.000 km<sup>2</sup> entre ríos, humedales, quebradas, ciénagas, etc., dividida en 5 vertientes hidrográficas. Entre estas vertientes hidrográficas se encuentra la de la región caribe o vertiente del océano Atlántico con poco más de 360.000 km<sup>2</sup> en su extensión de área, teniendo como mayor referente los ríos: Magdalena, Cauca y Atrato. Dentro de esa extensión de 360.000 km<sup>2</sup>, las ciénagas o lagunas costeras (Grande de Santa Marta, Totumo, Mallorquín, De la virgen, la Caimanera etc.) ocupan 120.000 km<sup>2</sup> aproximadamente (alrededor del 30%), que son definidas según el Estudio Nacional del Agua (ENA) de 2018 como cuerpos de agua originados por la deposición de sedimentos marinos formando una barrera de arena detrás de la cual se firma la laguna quedando con una conexión directa con el mar a través de un caño.

La laguna costera es “Una depresión topográfica por debajo del nivel medio de las mareas altas, separada del mar por una barrera y comunicada con este a través de una o más bocas efímeras o permanentes”. Existen lagunas costeras que pueden o no tener comportamiento estuarino permanente o estacional, separadas del mar por una barrera de arena o de otro tipo [1]. Entre estas tenemos la Ciénaga Grande de Santa Marta, Mallorquín, La Caimanera, La virgen, Laguna Grande y Laguna de navío Quebrado dentro del Santuario de fauna y flora Los Flamencos, entre otros.

En el departamento del Atlántico se encuentra la ciénaga de Mallorquín, laguna costera que posee una extensión total de 8,57 km<sup>2</sup> de área, la Ciénaga de Mallorquín pertenece a la cuenca hidrográfica de Mallorquín. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Mallorquín, la cuenca presenta una superficie aproximada de 296.2 km<sup>2</sup>, cuya área de influencia está definida a partir del nacimiento del arroyo Grande a la altura del corregimiento de Pital de Megua en el municipio de Baranoa, ocupando el cauce en dirección norte hasta desembocar en la margen sur occidental de la ciénaga de Mallorquín. La extensión de la subcuenca se delimita por la línea

divisoria de agua de los arroyos Santo Domingo y Hondo, en la margen Sur occidental del Distrito de Barranquilla; en sectores de los municipios de Puerto Colombia debido al recorrido del Arroyo León; Baranoa por los divorcios de las aguas de los arroyos Jubilado, Simón y Megua situados al noreste del municipio en inmediaciones del corregimiento de Pital de Megua y caseríos cercanos, coincidiendo con el nacimiento del arroyo Grande; Tubará por los divorcios de los arroyos Batuque, Malemba, Horno, San Luís, Don Juan y Granada y el municipio de Galapa en su totalidad, y el recorrido de los arroyos Mollo, Grande y Caña [2].

La ciénaga de Mallorquín se encuentra ubicada en la subcuenca baja o plano costero-litoral, la cual constituye un área total de 36,17 km<sup>2</sup> de los cuales como se mencionó anteriormente posee una extensión de 8,57 km<sup>2</sup> de área total [2], se ubica entre las coordenadas N 11° 02'46,70", 74° 49'47,36"W y N 11° 03'44,11", 74° 50'36,86"W en la margen occidental del río Magdalena y entre las coordenadas N 11° 01'48,40", 74° 51'13,69"W y N 11° 02'38,09", 74° 52'48,79"W en la parte más alejada del río.

A partir de 1935 con la construcción de los tajamares en el margen occidental del río Magdalena, la composición estuarina de la Ciénaga de Mallorquín se modificó, debido a la conexión y dependencia de esta con el río Magdalena. A partir de este hecho comenzaron los problemas para el cuerpo de agua, debido al quebrantamiento del equilibrio de la ciénaga se causaron grandes y graves consecuencias a la vida acuática, y un aumento en la contaminación hasta niveles no aceptables, entre otros. No solo este hecho ha marcado de manera negativa en la estabilidad del cuerpo de agua, ya que el distrito de Barranquilla utilizó durante aproximadamente 30 años el sector del barrio Las Flores de manera inadecuada como basurero de cielo abierto suscitando la contaminación de estas aguas. [2]

En el año 1992 fue colocada una tubería que conectó el río Magdalena con la Ciénaga, esta tubería finalmente terminó de afectar hidráulicamente el sistema del cuerpo de agua, debido a la generación de sólidos en grandes cantidades que afectaron el nivel de lámina de agua, según lo indicado por la Corporación Autónoma del Atlántico (CRA), 2005, "Diagnostico Analítico De La Cuenca de Mallorquín" Barranquilla [3].

En la actualidad, aunque el distrito ya no utiliza el basurero a cielo abierto del barrio Las Flores este aun genera lixiviados hacia la ciénaga, aparte aproximadamente el 40% de la población del barrio Las flores y del corregimiento La Playa vierten sus residuos domésticos hacia esta.

La ciénaga de Mallorquín es un ecosistema, ambientalmente, muy vulnerable, debido a todas las circunstancias mencionadas, sumadas a una falta de conciencia generalizada de las comunidades e instituciones, especialmente del Distrito de Barranquilla y el Departamento del Atlántico; cuyas acciones han sido mínimas, en los últimos años la gobernación del Atlántico ha encaminado las políticas a la generación de obras de mejoramiento del saneamiento y la calidad del agua en la parte final del recorrido del Arroyo León; por otra parte la alcaldía del distrito de Barranquilla encabeza un proyecto en la mejora en la calidad del agua y el saneamiento de la Ciénaga de Mallorquín buscando detener o atenuar la problemática de los lixiviados y otros vertimientos sobre la ciénaga, pues su acción se ha perpetuado por más de 70 años. [3]

Por otro lado, al momento de la toma de decisiones para compensar la problemática que afecta a la ciénaga, la falta de conocimiento acerca del funcionamiento hidrodinámico de la misma representa dificultades para que dichas labores consigan mejorías palpables y duradera en la Ciénaga Mallorquín. He aquí donde se axioma la importancia de la presente investigación, cuyo objetivo principal es realizar un análisis de la variación de la calidad del agua de la Ciénaga. Generando grandes beneficios a las personas vinculadas con la ciénaga costera debido a que confirmaría que las condiciones en las que se encuentra el cuerpo de agua son adecuadas para permitir algún tipo de contacto, ya sea primario o secundario. Al reducir los focos de contaminación y los riesgos para la salud pública, se fomentaría el turismo en la región generando empleo y oportunidades económicas para las comunidades de la Zona, conllevando a una reducción en la pobreza, y mejora en la calidad de vida de las personas que conviven en las zonas aledañas a la ciénaga. [4] Produciendo una mejora del sistema acuático, haciendo razonar sí; ¿Se presentará algún cambio significativo en el cuerpo de agua para bien o para mal durante las distintas épocas del año?.

El gobierno nacional de la república de Colombia a través del decreto 1594 de 1984 derogado por el decreto 3930 de 2010; hoy compilado en el decreto 1076 de 2015, establece en su artículo 22 que: “para destinar las aguas de tipo superficiales, subterráneas, marinas y estuarinas en forma genérica a los diferentes usos que establece este mismo decreto, se deberá desarrollar un plan de ordenamiento, por parte de la entidad encargada del manejo y administración del Recurso (EMAR) o del Ministerio de Salud en donde aquellas no existan”, mismas funciones que fueron otorgadas al Sistema Nacional Ambiental (SINA) [5]

La ciénaga de Mallorquín por su importancia, es de interés social y ambiental a tal punto que ha sido de sujeto de análisis de numerosos estudios desde la parte biótica como los manglares en análisis multitemporales [6] o las bacterias autóctonas del área, así como la influencia del arroyo León sobre la ciénaga [3] y la parte abiótica como la medición de metales pesados [7], buscando la recuperación de la misma, debido a que aún existen comunidades que desarrollan actividades como la pesca y la agricultura para subsistir como comunidad, igualmente, la ciénaga constituye, en menor grado, una fuente de abastecimiento de agua para las actividades de los sectores del barrio Las Flores y los barrios pertenecientes al corregimiento de La Playa. [2]

Se pretende que con los cálculos de índice de calidad del agua de la ciénaga de Mallorquín aporten en la determinación del estado actual de la ciénaga, así poder ir generando escenarios acordes a la información recolectada ya sea en la bibliografía o en visitas de campo a la zona de estudio. Posterior a ello, con los datos obtenidos la misma comunidad ubicada en torno al ecosistema podrán basarse en los resultados del presente proyecto de grado para la contextualización del estado del medio, actualizado y pertinente, y poder así tomar decisiones con respecto a la ciénaga. Para ello es necesario comparar la situación actual de la calidad de agua de la ciénaga de Mallorquín a través del cálculo de índice de calidad del agua, comparar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, tanto en época seca como de lluvias. Para llegar a esto se pasa por etapas como la recolección de muestras de agua y la medición de las concentraciones in situ de parámetros físicos en la ciénaga de Mallorquín, así también medir las concentraciones de los contaminantes físicos, químicos, y microbiológicos

presentes en la ciénaga. Y por último calcular los índices de calidad de agua (ICA e ICO's, Capacidad Buffer, Índice de Langelier para cada época del año en la ciénaga, para luego comparar los índices de calidad entre las dos épocas del año monitoreadas en la ciénaga de Mallorquín.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

En todo el mundo el desarrollo de trabajos fundados en los conceptos de calidad de agua, se han caracterizado por la gran cantidad de ecosistemas acuáticos usados como objetos de estudio, formulados en Perú, Argentina, Estados Unidos de América, Europa, entre otros. Ha sido tan grande el estudio de la calidad del agua, que se tienen trabajos realizados en los años 1997 y 1999 por Ramírez et al., quienes realizaron dos estudios para la determinación de la calidad del agua en el estado colombiano, que ayudaron a la formulación de los índices de contaminación (ICO's), [8] [9], Castellanos en el año 2009 realizó una investigación donde se pudo evaluar la de calidad de agua en sistemas lenticos utilizando macroinvertebrados como bioindicadores en este proceso donde se determinó de manera preliminar que el agua se encontraba muy contaminada [10], al igual que también han servido para estudios de riberas como lo hizo Basílico et al. en 2015 con su investigación sobre la adaptación de los índices de calidad y de riberas para la evaluación ambiental de la zona [11]; o los distintos análisis multivariados realizados en múltiples investigaciones, como la de Goenaga y Martínez en el 2017, quienes investigaron la calidad del agua bajo la premisa de que se utiliza para el consumo humano [12].

Además, En el año 2017 se realizaron varios estudios sobre la calidad del agua, por ejemplo, Benavides (2017) investigó sobre el índice de calidad de las playas del departamento del Atlántico [13], Martínez (2017), investigó sobre la calidad del agua para consumo en el departamento de Bolívar [14] y Caho-Rodríguez (2017) investigó la calidad del agua para el sector occidental del humedal Torca- Guaymaral, en la zona rural de Bogotá [15]. También se ha estudiado la capacidad buffer del cuerpo de agua o los índices de contaminación [8] [9], ejemplo de esto es el estudio realizado por Garbagnati et al. (2005) quienes estudiaron las características fisicoquímicas y de capacidad buffer en el río grande en la localidad de San Luis (Argentina) [16] y Chavarro y Gélvez en 2016 quienes realizaron una investigación sobre los índices de



contaminación ICO's en la quebrada Fucha (Bogotá D.C.) respecto al uso de suelo y la precipitación de la zona [17].

De las investigaciones citadas, se puede establecer el factor común que representa el uso de modelos numéricos, para el estudio y representación de sus componentes dentro de sistemas acuáticos, sirviendo de referencia para este estudio, mostradas las similitudes que se tiene entre los trabajos referenciados y los objetivos del presente trabajo de investigación [18].

## **2.1 AREA DE ESTUDIO (CIENÁGA DE MALLORQUÍN)**

La ciénaga de Mallorca se encuentra ubicada a la izquierda del tajamar occidental de Bocas de Ceniza que conduce el río Magdalena en su desembocadura al mar Caribe. En el marco geográfico de la región se encuentra en el extremo norte del departamento del Atlántico, sobre las coordenadas 74° 52 W y 11° 02 N. En sus límites se tienen que por el costado nororiental colinda con el tajamar antes mencionado, por el lado suroriental se ubica la población del barrio Las Flores, en el suroccidente el límite es con la población del corregimiento de La Playa y por el noroeste colinda con la barra de arena que la separa del mar Caribe. La ciénaga mayormente durante el año tiene una profundidad que oscila entre 1,2 y 1,5 metros.

Hacia las primeras décadas del siglo XX la ciénaga era un cuerpo de agua tipo estuarino - deltáico que reunía un sistema comprendido por las Ciénagas Cantagallo, Mallorca, La Playa y Los Manatíes, con varias conexiones que constituían parte del delta del río Magdalena. A mediados de la década de 1920, de acuerdo con Universidad del Norte & INDERENA (1993), “se dio comienzo a la construcción de los tajamares que conforman la estructura de Bocas de Ceniza y se inició una serie de modificaciones morfológicas que configuraron el cuerpo de agua que hoy se conoce

con el nombre de ciénaga de Mallorca. Por otro lado, el encauzamiento del Río Magdalena por los Tajamares cambió las características hidráulicas de la zona, tras lo cual el arrastre de material sólido suspendido que antes, por acción de las corrientes marinas era devuelto y depositado en barras hacia el sur occidente, precisamente sobre Mallorca, Sabanilla, Salgar y Pradomar, luego de los Tajamares son arrastrados al Cañón submarino y comenzando en el litoral el proceso de erosión que hoy se vive. En cuanto a la Ciénaga de Mallorca, las barras formadas, la pérdida de flujos de agua dulce y la permanencia de los aportes del mar, transformaron a esta laguna de estuarina en costera parcialmente cerrada; esta nueva condición trajo a su vez una pérdida en la productividad, en el movimiento de las aguas internas y un subsecuente aumento en la colmatación de la Ciénaga con materiales terrestres procedentes del lixiviado de la cuenca circundante durante la estación lluviosa principalmente". [2] Debido a las circunstancias expuestas, la Ciénaga perdió profundidad hasta el nivel actual e incluso perdió área, como se puede constatar con las zonas plenamente colmatadas que se observan en inmediaciones del antiguo basurero municipal. El área actual es de unas 1200 hectáreas [2].

## **2.2 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA**

El Índice de calidad del agua es el valor numérico asignado a la calidad del agua de una corriente superficial que la califica en una de cinco categorías, con base en las mediciones obtenidas en un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo  $j$  en el tiempo  $t$ . [19]

### **2.2.1 Cálculo de Índice de Calidad del Agua ICA**

Este indicador se calcula a partir de los datos de concentración de cinco o seis variables que determinan, la calidad de las aguas superficiales. La siguiente es la fórmula de cálculo del indicador por punto.

*Ecuación 1. Fórmula general del cálculo de ICA*

$$\left( \sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA<sub>njt</sub>= índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo j en el tiempo t evaluado con base en n valores

W= Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I<sub>ikjt</sub> = Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n= Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

El índice de calidad de agua promedio se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

*Ecuación 2. Cálculo ICA promedio*

$$ICA_{promedio_{njt}} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt})}{m}$$

Donde:

m= Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.  $1 \leq m \leq 4$  si el periodo es anual.

Las tablas siguientes muestran las variables involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplea 5 o 6 variables, además, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 1. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ponderación</b>
Oxígeno disuelto, OD	% de Saturación	0,2
Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/L	0,2
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L	0,2
Conductividad Eléctrica, C.E.	μS/cm	0,2
Ph	Unidades de pH	0,2

Fuente: [19]

Tabla 2. Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ponderación</b>
Oxígeno disuelto, OD	% de Saturación	0,17
Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/L	0,17
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L	0,17
NT/PT	-	0,17
Conductividad Eléctrica, C.E.	μS/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: [19]

En esta investigación se trabajó con las ponderaciones de la tabla 2

#### 2.2.1.1 Cálculo del valor de cada variable

Este procedimiento general consiste en ingresar el valor de una medición que haya registrado la variable de calidad  $i$ , en la curva funcional correspondiente y así poder estimar el valor  $I_{ikjt}$ .

- Oxígeno Disuelto (OD)

Esta variable tiene un papel biológico fundamental, ya que, ayuda a definir potencialmente la presencia o ausencia de la vida acuática.

Inicialmente el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto  $PS_{OD}$  es calculado de acuerdo con la siguiente:

*Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de saturación del Oxígeno*

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{C_p}$$

Donde:

Ox: Concentración medida de oxígeno disuelto en mg/L asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

Cp: es concentración de equilibrio de oxígeno en mg/L a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I<sub>OD</sub> se calcula con la fórmula:

*Ecuación 4. Cálculo del ICA de Oxígeno cuando el porcentaje (%) de saturación es menor al 100%*

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación es mayor al 100% se utiliza la siguiente ecuación

*Ecuación 5. Cálculo del ICA de Oxígeno cuando el porcentaje (%) de saturación es mayor al 100%*

$$I_{OD} = 1 - (0,0 * PS_{OD} - 1) [19]$$

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

La existencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua muestra cambios que se pueden estar presentando en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Este parámetro tiene una relación directa con la turbiedad.

El índice de calidad para sólidos suspendidos se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 6. Cálculo del ICA de SST*

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$$

Si  $SST \leq 4,5$ , entonces  $I_{SST} = 1$

Si  $SST \geq 320$ , entonces  $I_{SST} = 0$

Fuente: [16]

- Demanda Química de Oxígeno DQO

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Mediante adaptación propuesta por la Universidad Politécnica de Cataluña se calcula de acuerdo con las relaciones siguientes:

Si  $DQO \leq 20$ , entonces  $I_{DQO} = 0,91$

Si  $20 < DQO \leq 25$ , entonces  $I_{DQO} = 0,71$

Si  $25 < DQO \leq 40$ , entonces  $I_{DQO} = 0,51$

Si  $40 < DQO \leq 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,26$

Si  $DQO > 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,125$ . [19]

- Conductividad eléctrica

Está profundamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinados de forma química, además ayuda a reflejar el proceso de la mineralización. Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

*Ecuación 7. Cálculo del ICA de Conductividad eléctrica*

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

Cuando  $I_{CE} < 0$ , entonces  $I_{CE} = 0$ . [19]

- pH

El pH mide la acidez o basicidad del cuerpo de agua, los valores de pH extremos pueden llegar a afectar la flora y fauna presentes. Y el índice de calidad pH se relaciona de acuerdo con los enunciados

Si  $pH < 4$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$

*Ecuación 8. Cálculo de ICA pH entre 4 y 7*

Si  $4 \leq pH < 7$  entonces  $I_{pH} = 0,02628419 * e^{-(pH*0,520025)}$

Si  $7 \leq pH < 8$ , entonces  $I_{pH} = 1$

*Ecuación 9. Cálculo de ICA pH entre 8 y 11*

Si  $8 \leq pH < 11$ , entonces  $I_{pH} = 1 * e^{-(pH-8)*0,5187742}$

Si  $pH > 11$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$ . [19]

- Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)

La relación nitrógeno - fosforo mide la degradación por intervención antrópica al cuerpo de agua, empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como el suceso para que la fuente asimile carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales (desde el norte de Argentina hasta el centro de México). Y se define con las siguientes de acuerdo a las siguientes afirmaciones:

Si  $15 \leq NT / PT \leq 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,8$

Si  $10 < NT/PT < 15$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,6$

Si  $5 < NT / PT \leq 10$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,35$

Si  $NT / PT \leq 5$ , o  $NT/PT > 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,15$  [19]

### **2.3 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (ICO's)**

Para estimar la calidad del agua durante la época húmeda y seca en los cuerpos de agua presentes, en lo relacionado con la naturaleza química y física, se utilizaron los índices de contaminación (ICO's), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación para técnicos, autoridades ambientales y el público en general.

Los índices de contaminación "ICOS" fueron desarrollados por Ramírez et al. Cerca del año de 1997 para reemplazar los índices de calidad de aguas (ICA) frecuentemente expuestos en la literatura. Los índices de contaminación son el resultado de una investigación de 17 análisis de componentes principales realizados en una serie de programas de monitoreo que incluyen estudios entre otros los de Oleoducto Colombia, OCENSA, los campos Cusiana y Cupiagua, etc., donde se evaluaron entre 20 y 35 variables fisicoquímicas en más de 22 cuerpos de agua lóticos durante 6 períodos de muestreo. [20]

Ramírez et al., además demostraron con su investigación que los índices desarrollados no se correlacionan entre sí, pero se complementan para la identificación de problemas ambientales de diversas causas y efectos, situación que no permitían los referidos ICA. Los índices de contaminación trabajados en esta investigación son: ICOMI, ICOSUS, ICOPH, ICOMO e ICOTRO. [20]

Uno de los métodos usados para estudiar las condiciones ecológicas de los ríos se basa principalmente en la valoración de la calidad del agua que evalúa la naturaleza física, química y biológica de esta en relación con sus posibles usos, el empleo de dichas variables tiene como ventajas: los posibles cambios detallados, la determinación de manera precisa de los contaminantes y la fácil estandarización, pero presentan el problema de ser testigos de solo condiciones puntuales [20].

Los índices de contaminación tienen un valor de significancia a partir de la siguiente tabla

Tabla 3. Significancia de los índices de contaminación (ICO)

Valor ICO	Contaminación	Escala de Color
0-0,2	Ninguna	Azul
>0,2-0,4	Baja	Verde
>0,4-0,6	Media	Amarillo
>0,6-0,8	Alta	Naranja
>0,8-1	Muy Alta	Rojo

Fuente: [9]



### 2.3.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: la conductividad la cual expresa el reflejo del conjunto de sólidos disueltos totales, dureza total cuantifica la suma de las concentraciones de los cationes calcio y magnesio, y la alcalinidad total porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos. [8]

El ICOMI es el valor promedio de la cuantificación de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango entre 0 - 1; los índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, y los índices cercanos a uno (1), reflejan lo contrario. [8] Se determina con la siguiente ecuación:

*Ecuación 10. Determinación de Índice de Contaminación por mineralización*

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

El índice de conductividad se obtiene a partir de la ecuación:

*Ecuación 11. Determinación de Índice de conductividad*

$$I_{Conductividad} = 10^{\log I_{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \log_{10} conductividad}$$

Para Conductividades mayores a 270 $\mu$ S/cm tiene  $I_{Conductividad}=1$

El índice de dureza se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 12. Determinación de Índice de Dureza*

$$I_{Dureza} = 10^{\log I_{Dureza}} = 10^{-9,09+4,40 \log_{10} Dureza \left(\frac{mg}{L}\right)}$$

Luego se tiene:

Durezas mayores a 110mg/L tiene un  $I_{Dureza}=1$

Durezas menores a 30 mg/L tiene un  $I_{Dureza}=0$

El índice de alcalinidad se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

*Ecuación 13. Determinación de Índice de Alcalinidad*

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005Alcalinidad\left(\frac{mg}{L}\right)$$

Alcalinidades mayores a 250mg/L  $I_{Alcalinidad} = 1$

Alcalinidades menores a 50mg/L  $I_{Alcalinidad} = 0$  [8]

2.3.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables de tipo fisicoquímicas y microbiológicas de las cuales fueron seleccionados los parámetros, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), los coliformes totales y el porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, acumulan distintos efectos de la contaminación orgánica, tal como se demuestra con la ausencia de correlaciones entre ellas.

Se determinan resolviendo la siguiente ecuación:

*Ecuación 14. Determinación de Índice de Contaminación por Materia Orgánica*

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{\%Oxígeno})$$

El índice de DBO se obtiene siguiendo la ecuación:

*Ecuación 15. Determinación de Índice de DBO*

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO$$

DBO mayores a 30mg/L tiene  $I_{DBO}=1$

DBO menores a 2 mg/L tiene un  $I_{DBO}=0$

El índice de Coliformes totales se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 16. Determinación de Índice de Coliformes totales*

$$I_{Coliformes\ totales} = -1,44 + 0,56 \log_{10} Coliformes\ totales\ (NMP),$$

Coliformes totales mayores a 20000 NMP/100 mL tiene un  $I_{Coliformes\ totales}=1$

Coliformes totales menores a 500 NMP/100 mL tiene un  $I_{Coliformes\ totales}=0$

El índice de % de oxígeno se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

*Ecuación 17. Determinación de Índice de % de oxígeno*

$$I_{\%Oxígeno} = 1 - 0,01(\%Oxígeno)$$

%Oxígeno mayores a 100%  $I_{\%Oxígeno} = 0$  [8]

### 2.3.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Se establece y calcula tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desvinculó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos. Se calcula con la siguiente ecuación

*Ecuación 18. Determinación de Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos*

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003(\text{Sólidos Suspendidos Totales}),$$

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones

Sólidos Suspendidos totales mayores a 340 mg/L tiene un ICOSUS=1

Sólidos Suspendidos totales menores a 10 mg/L tiene un ICOSUS=0 [8]

### 2.3.4 Índice de contaminación trófico (ICOTRO)

El ICOTRO se fundamenta básicamente en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta de la siguiente manera:

Tabla 4. Clasificación de Categorías según concentración del fósforo

<b>Categoría</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>
Oligotrófico	<0,01
Mesotrófico	0,01-0,02
Eutrotrofico	0,02-1
Hipereutrotrofico	>1

Fuente: [8]

## 2.4 CAPACIDAD BUFFER

La capacidad amortiguadora de un sistema es posible medirse mediante el cálculo del índice buffer ( $\beta$ ), el cual matemáticamente se define por la expresión:  $\beta = \pm (\delta C / \delta pH)$ ; donde C es la molaridad de ácido o base fuerte necesaria para producir una modificación de al menos una unidad de pH. Indudablemente, el sistema carbonato/bicarbonato es quien regula el pH, de tal forma que pequeñas variaciones en la concentración de carbonato/bicarbonato no afectan el valor del mismo.

La capacidad buffer que relaciona el pH y la alcalinidad, se llega a asociar a la vulnerabilidad intrínseca que posee el agua con referencia a los cambios de pH; además se puede relacionar con la vulnerabilidad específica, toda vez que se calcule la cantidad de ácido o base necesaria para romper ese equilibrio y afectar de alguna forma los demás parámetros comprometidos en la calidad físico-química del agua.

Esta cantidad de ácido o base puede asimilarse a la cantidad de volumen sobre el cauce natural o de un efluente industrial o cloacal. La capacidad reguladora para ácido carbónico, diprótico, tiene la siguiente ecuación:

*Ecuación 19. Determinación de Capacidad Buffer*

$$\beta = 2,3 \left[ [H^+] + \sum_I^j \frac{K_a C_o [H^+]}{(K_a + [H^+])^2} + [OH^-] \right]$$

donde Co es la concentración analítica ( $HCO_3^-$ ;  $CO_3^{2-}$ ;  $H_2CO_3$ ) y Ka1, Ka2 las constantes de protólisis del ácido carbónico. Se calcularon los valores de  $\beta$  para diferentes valores de pH, considerando Co = concentración molar en cada punto monitoreado. [16]

Internacionalmente una alcalinidad mínima aceptada es de 20 mg de  $CaCO_3/L$  para sostener la vida acuática. Cuando las aguas presentan alcalinidades inferiores a este valor aceptado, tienden a volverse de manera muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación).

Se han propuesto clasificaciones de las aguas según su capacidad amortiguadora con base en la alcalinidad, lo que permite operar descriptores categóricos sencillos a ser utilizados en el análisis de calidad de agua para la vida acuática. [21]

Tabla 5. Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total para la estabilidad de la vida acuática

<b>Descriptor</b>	<b>Alcalinidad (mg/L)</b>
Minimo aceptable	20
Pobrementemente amortiguadas	<25
Moderadamente amortiguadas	25-75
Muy amortiguadas	75

Fuente: [21]

## 2.5 INDICE DE LANGELIER

El índice de Saturación de Langelier define la corrosividad del agua con respecto al carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y está basado en el efecto del pH sobre el equilibrio de solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ . El pH, al cual el agua está saturada con  $\text{CaCO}_3$ , es conocido como pH de saturación ( $\text{pH}_s$ ) y depende de la temperatura, alcalinidad, dureza total y sólidos disueltos totales. De esta manera, Langelier define un índice (LSI) igual a la diferencia entre el valor medido del pH del agua y el del pH de saturación:

Ecuación 20. Determinación del Índice de Langelier

$$LSI = pH - pH_s$$

Donde  $\text{pH}_s = (\text{HF} + \text{AF} + \text{TF} - 12.5)$ ; entonces  $LSI = \text{pH} + \text{HF} + \text{AF} + \text{TF} - 12.5$

Si  $LSI > 0$ , el agua está sobresaturada, el  $\text{CaCO}_3$  se deposita y por lo tanto el agua es incrustante.

Si  $LSI = 0$ , el agua está saturada (en equilibrio) con  $\text{CaCO}_3$  y éste ni se precipita ni se disuelve.

Si  $LSI < 0$ , el agua está insaturada, el  $\text{CaCO}_3$  tiende a disolverse y por lo tanto el agua es corrosiva.

En la mayoría de los países del mundo se acepta que el agua es neutra y no dañina para la salud del ser humano, cuando el rango para el índice de Langelier se encuentra entre -0,5 y +0,5. Este índice de saturación o de Langelier también es utilizado para determinar el carácter incrustante o corrosivo del agua. [22]

### 3. METODOLOGIA

El trabajo de investigación fue realizado en 3 etapas, se inició la etapa 1 con la recolección de muestras de agua en la ciénaga de Mallorquín, en la etapa 2 se realizaron ensayos de laboratorio aplicando los métodos de análisis para cada parámetro, y por último, en la etapa 3 se realizó la comparación de los índices de calidad, contaminación, Langelier y capacidad buffer entre las épocas seca y húmeda o de lluvia.

#### 3.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua se recolectaron en las épocas seca y húmeda (o de lluvias) en 6 puntos de la Ciénaga de Mallorquín previamente estudiados de acuerdo al comportamiento de vertimientos de agua a la ciénaga. Estas muestras se recolectaron a través de la columna de agua en cantidad suficiente para la realización de los parámetros, esto es aproximadamente un volumen de 5 L.

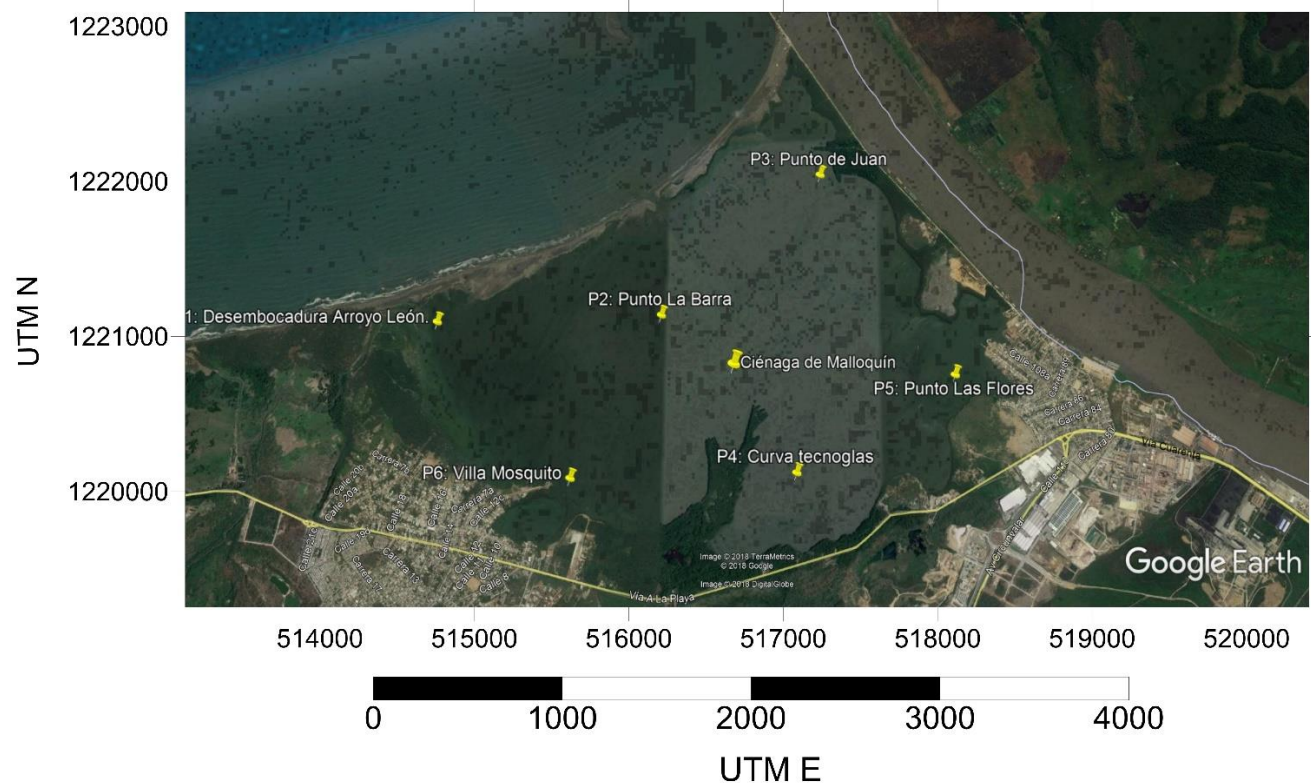
En la Tabla 6 y Figura 1, se observa la ubicación de los puntos donde se recolectaron las muestras.

Tabla 6. Puntos de toma de muestra

Punto	Nombre/ Descripción	Coordenadas angulares		UTM		Gauss- Krüger	
		Norte	Oeste	X	Y	X	Y
1	Desembocadura Arroyo León	11°02'42.30"	74°51'57.50"	514639,492	1220967,600	913841,246	1713334,022
2	Punto La barra	11°02'43.74"	74°51'07.11"	516168,353	1221011,321	915370,980	1713373,045
3	Punto de Juan	11°02'14.45"	74°50'30.99"	517264,743	1220113,491	916465,125	1712471,402
4	Curva Tecnoglass	11°02'10.84"	74°50'36.89"	517085,784	1220002,519	916285,739	1712360,929
5	Punto Las flores	11°02'31.10"	74°50'01.37"	518163,183	1220625,370	917365,572	1712980,754
6	Villa Mosquito	11°02'09.72"	74°51'26.67"	515575,382	1219967,365	914774,502	1712330,415

Fuente: Creación propia

Figura 1. Ubicación Aproximada de los puntos monitoreados.



Fuente: Imagen tomada de Google Earth

### 3.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Al agua muestreada de la Ciénaga de Mallorquín se le determinó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como DQO, Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad Eléctrica, Nitrógeno total, Fósforo Total, Sólidos Suspendedos Totales (SST), temperatura, Alcalinidad Total, Dureza Total, Sólidos Disueltos Totales (SDT), DBO<sub>5</sub>, Coliformes Totales. En la Tabla 7 se muestran los diferentes parámetros analizados y la metodología que se utilizó para su análisis.



Tabla 7. Guía de métodos para cada parámetro a analizado

<b>Parámetro</b>	<b>Volumen de muestra a tomar (L)</b>	<b>Métodos utilizados</b>
pH		SM4500 H B
Temperatura		SM 2550 B
Oxígeno Disuelto	Parámetro In Situ	SM 4500 O G
Conductividad eléctrica		SM 2510 B
DBO <sub>5</sub>	1	SM 5210 B ISO 17289 2014-07-14
DQO		SM 5220 D
Nitrógeno Total	1	SM 4500 Norg C
Fósforo total		SM 4500 P B, E
Dureza Total		SM 2340 C
SST		SM 2540 D
Nitratos		SM 4500 NO <sub>3</sub> D
Nitritos	2	SM 4500 NO <sub>2</sub> B
SDT		SM 2540C
Alcalinidad Total		SM 2320 B
Coliformes totales	0,350	SM 9221 B

Fuente: Creación Propia

### 3.3 CÁLCULO DE ÍNDICE DE CALIDAD

El cálculo de los índices de calidad se realizó a través del software Excel con la información de los parámetros obtenidos al realizar los análisis de laboratorio y aplicando las ecuaciones previamente explicadas en la sección 2 de Marco de Referencia, e introducidas al software Excel. permitiendo realizarlos de manera ágil y segura.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Las tablas 8 y 9 presentan los resultados de laboratorio para cada muestra tomada en la ciénaga de Mallorcaín en las distintas épocas de muestreo (época húmeda y época seca). Una vez se obtuvieron los resultados de los análisis en el laboratorio se procedió a realizar los cálculos pertinentes de las variables a analizar como lo son Índice de Calidad del Agua, Índices de Contaminación, Capacidad Buffer, e índice de Langelier. Realizado el monitoreo de las aguas a caracterizar se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio en temporada húmeda

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
<b>Demanda</b>							
Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	37,5	195,6	235,8	254,8	266,6	225,2
<b>Sólidos</b>							
Suspendidos Totales (SST)	mg/L	120,0	20,3	27,0	36,2	61,6	47,0
Sólidos Disueltos	mg/L	900,0	19880,0	15440,0	16700,0	18980,0	17420,0
<b>Compuestos de Fósforo</b>							
Fósforo total (P)	mg/L	3,00	4,51	3,26	3,65	3,40	3,23
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>							
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	79,06	27,93	23,40	22,27	23,40	20,36
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L	1,142	1,325	1,125	0,863	0,850	0,575
<b>Nitrógeno</b>							
Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	2,750	1,010	3,170	0,834	<0,054	<0,054
Nitrógeno total	mg/L	8,96	4,48	20,20	8,96	3,00	5,60

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Kjeldhal							
Nitrógeno total	mg/L	89,162	33,730	44,720	32,088	27,245	26,535

Tabla 8. (Continuación)

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
<b>Otros parámetros</b>							
Alcalinidad	mg/L	200,0	165,0	125,8	147,0	142,0	141,0
Dureza Total	mg/L	333,0	7355,6	5712,8	6179,0	7022,6	6445,4
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes Totales	NMP/ 100 mL	3410	200	1280	310	100	5200

Fuente: Análisis de laboratorio

Tabla 9. Resultados de los análisis de laboratorio en temporada seca

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )							
	mg/L O <sub>2</sub>	46,8	224,4	242,8	260,6	268,2	239,2
Sólidos							
Suspendidos Totales (SST)	mg/L	78,6	8,5	21,1	31,3	48,6	36,7
Sólidos Disueltos	mg/L	1040	20200	16000	17600	20440	19500
<b>Compuestos de Fósforo</b>							
Fósforo total (P)	mg/L	2,86	3,37	3,05	3,00	3,14	3,47
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>							
Nitratos (N- NO <sub>3</sub> )	mg/L	190,49	88,60	60,25	28,97	93,03	82,84

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Nitritos (N- NO <sub>2</sub> )	mg/L	1,670	3,080	2,810	1,430	1,700	1,690
Nitrógeno Amoniacal (N- NH <sub>3</sub> )	mg/L	2,750	1,010	3,170	0,834	<0,054	<0,054

Tabla 9. (Continuación)

Parámetro	Unidad	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>							
Nitrógeno total Kjeldhal	mg/L	8,96	4,48	20,20	8,96	3,00	5,60
Nitrógeno total	mg/L	201,12	96,16	83,26	39,36	97,73	90,13
<b>Otros parámetros</b>							
Alcalinidad	mg/L	222	176	185,2	167	167	167
Dureza Total	mg/L	384,8	7474	5920	6512	7562,8	7215
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes Totales	NMP/ 100 mL	24196	121	158	185	364	862

*Fuente: Análisis de laboratorio*

Los resultados de análisis de laboratorios realizados muestran que en el punto 1: Desembocadura del arroyo León, en ambas épocas monitoreadas, presentaron los valores más altos de Coliformes Totales, Nitratos, Nitrógeno total, y Sólidos Suspendidos, valores que pueden ser producto del arrastre del arroyo; por lo contrario, los puntos restantes se vieron influenciados por los aportes de la marea del mar, así como el aporte del río y los demás vertimientos de la zona y los lixiviados generados del botadero de basura a cielo abierto que se encontraba en funcionamiento en el barrio Las Flores, afectando los parámetros como la DBO<sub>5</sub>, los Sólidos Disueltos Totales, entre otros. En la época seca se presentaron los valores más altos en la mayoría de los

parámetros analizados, debido a la concentración de los analitos de interés que pueden ser producido por la bajada de nivel del cuerpo de agua.

## 4.2 INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

A continuación, se presenta los valores calculados del índice de Calidad de Agua (ICA) mostrados en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Cálculo de índice de Calidad del Agua en la ciénaga de Mallorquín en época húmeda

Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Oxígeno Disuelto	15,00	25,20	18,20	18,30	20,00	19,30
I <sub>OD</sub>	0,150	0,252	0,182	0,183	0,200	0,193
ICAOD	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
DQO	168,20	768,30	825,50	972,50	920,50	817,60
I <sub>DQO</sub>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
ICADQO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Sólidos Suspendidos Totales	120,0	20,29	27,0	36,20	61,60	47,0
I <sub>SST</sub>	0,66	0,96	0,94	0,91	0,84	0,88
ICASST	0,11	0,16	0,16	0,15	0,14	0,15
NT/PT	29,72	7,48	13,72	8,79	8,01	8,22
I <sub>NT/PT</sub>	0,15	0,35	0,60	0,35	0,35	0,35
ICANT/PT	0,03	0,06	0,10	0,06	0,06	0,06
Conductividad	786,00	13040,00	11550,00	13040,00	11960,00	14930,00
I <sub>CE</sub>	-3,17	-178,67	-151,71	-178,67	-159,01	-214,40
ICACE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	7,42	7,53	7,75	7,98	7,96	7,93
I <sub>pH</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ICA <sub>pH</sub>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
<b>VALOR ICA ÉPOCA LLUVIAS</b>	<b>0,33</b>	<b>0,44</b>	<b>0,46</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>
<b>VALOR ICA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>

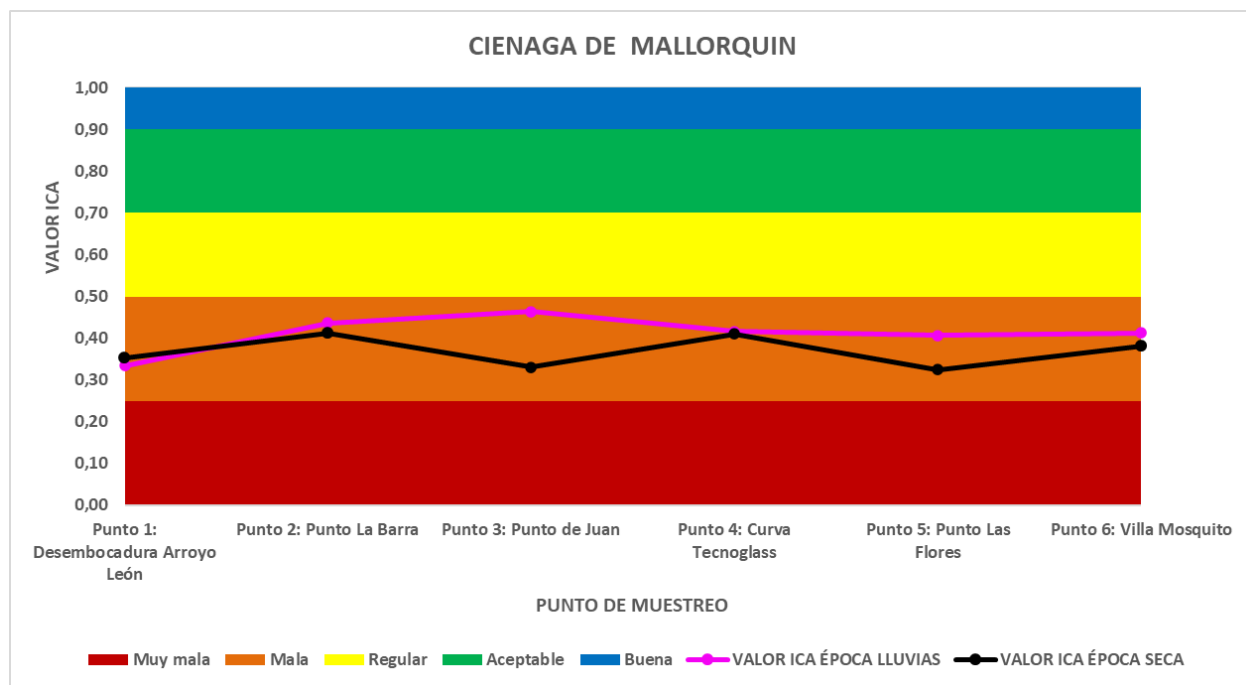
Fuente: Creación propia

Tabla 11. Cálculo de índice de Calidad del Agua en la ciénaga de Mallorquín en época seca

Parámetro/Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Oxígeno Disuelto	13,0	27,00	18,20	18,70	21,10	18,10
I <sub>OD</sub>	0,130	0,270	0,182	0,187	0,211	0,181
ICAOD	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03
DQO	173,70	831,20	899,30	965,00	993,20	887,50
I <sub>DQO</sub>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
ICADQO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Sólidos Suspendidos Totales	78,60	8,50	21,1	31,30	48,60	36,7
I <sub>SST</sub>	0,78	0,99	0,96	0,93	0,87	0,91
ICASST	0,13	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15
NT/PT	70,32	28,53	27,30	13,12	31,12	25,97
I <sub>NT/PT</sub>	0,15	0,15	0,15	0,60	0,15	0,15
ICANT/PT	0,03	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03
Conductividad	866,00	15060,00	13550,00	14030,00	13960,00	15960,00
I <sub>CE</sub>	-3,75	-216,91	-188,15	-197,18	-195,86	-234,54
ICACE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	7,59	7,78	8,01	8,09	8,05	7,93
I <sub>pH</sub>	1,00	1,00	0,60	0,65	0,63	1,00
ICA <sub>pH</sub>	0,15	0,15	0,09	0,10	0,09	0,15
<b>VALOR ICA ÉPOCA SECA</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,33</b>	<b>0,41</b>	<b>0,33</b>	<b>0,38</b>
<b>VALOR ICA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>	<b>MALA</b>

Fuente: Creación propia

Figura 2. Representación gráfica de los valores de índice de calidad del agua (ICA) en la ciénaga de Mallorcaín



Fuente: Creación propia

En la tabla 10 y tabla 11 se muestran los valores calculados de índice de calidad del agua en la ciénaga de Mallorcaín en la época húmeda y época seca, presentándose que el estado de la ciénaga es malo con valores de índice de calidad del agua entre 0,33 y 0,46 para la época húmeda. Los índices de calidad de agua en la época seca se encontraron entre 0,33 y 0,41.

Los valores de ICA pueden verse afectados por la cantidad de sólidos disueltos provenientes del mar afectando la conductividad de este, ya que al ser un cuerpo de agua costero presenta influencia del mar, así como también de los vertimientos ilegales del sector de tipo domésticos, las características del mismo (ya que es un cuerpo de agua lentic), y la influencia del arroyo León (el cual descarga sus aguas en esta ciénaga afectando el nivel de la carga contaminante bioquímica), así como la relación de nitrógeno/ fosforo, produciendo que el nivel de la calidad del agua se afecte y por ende se obtenga un menor valor al momento de realizar el cálculo. Al realizar la comparación entre las épocas (Ver Figura 2), se observa que el nivel se mantiene de

manera constante en la categoría mala, se presenta una leve mejoría en la época húmeda, presentado el mejor valor de 0,46 en el punto 3: Punto de Juan, dando a entender que el cuerpo de agua se puede recuperar en cualquier época de año después de un buen tratamiento.

Al realizar la comparación entre las épocas se observa que por puntos de toma de muestras (a excepción del punto 1: Desembocadura de arroyo León), en la época seca el índice de calidad del agua es menor que en la época de lluvia, esto puede deberse a la disminución en la saturación de oxígeno en el cuerpo de agua y el aumento de la presencia de contaminantes difíciles de biorremover, así como el aumento de la relación de nitrógeno-fosforo producto del vertimiento de líquidos de manera ilegal, así como también debido a lixiviados provenientes del basurero a cielo abierto que se encuentra en el barrio las flores del distrito de Barranquilla.

### 4.3 INDICE DE CONTAMINACION

#### 4.3.1 Índice De Contaminación Por Materia Orgánica

A continuación, en las tablas 12 y 13 se presentan los cálculos y valores para el Índice de Contaminación por Materia Orgánica, así como la Figura 3 sirve para observar el comportamiento del índice en ambas épocas.

Tabla 12. Resultados del Índice de Contaminación por materia orgánica en la ciénaga de Mallorquín época húmeda

<b>Parámetro/ Identificación punto de muestreo</b>	<b>Punto 1: Desembocadura Arroyo León</b>	<b>Punto 2: Punto La Barra</b>	<b>Punto 3: Punto de Juan</b>	<b>Punto 4: Curva Tecnoglass</b>	<b>Punto 5: Punto Las Flores</b>	<b>Punto 6: Villa Mosquito</b>
DBO	37,50	195,60	235,80	254,80	266,60	225,20
IDBO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coliformes totales (CT)	3410,00	200,00	1280,00	310,00	100,00	5200,00



Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
I <sub>CT</sub>	0,538	0,00	0,300	0,00	0,00	0,641

Tabla 12. (Continuación)

Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Oxígeno disuelto	15	25,2	18,2	18,3	20	19,3
I%Oxígeno	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
<b>ICOMO</b>	<b>0,84</b>	<b>0,66</b>	<b>0,76</b>	<b>0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>0,87</b>

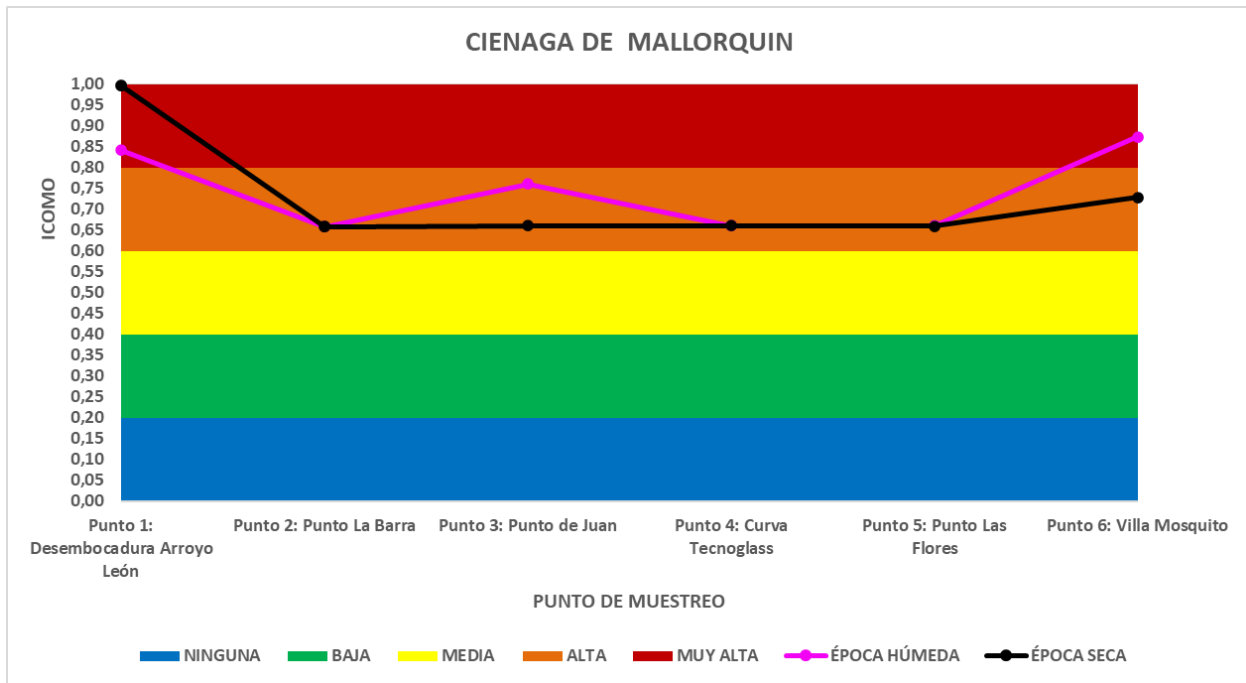
Fuente: Creación propia

Tabla 13. Resultados del Índice de Contaminación por materia orgánica en la ciénaga de Mallorca época seca

Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
DBO	46,80	224,40	242,80	260,60	268,20	239,20
IDBO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coliformes totales (CT)	24196,00	121,00	158,00	185,00	364,00	862,00
I <sub>CT</sub>	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,204
Oxígeno disuelto	13	27	18,2	18,7	21,1	18,1
I%Oxígeno	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
<b>ICOMO</b>	<b>1,00</b>	<b>0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>

Fuente: Creación propia

Figura 3. Representación gráfica de los valores de Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en la ciénaga de Mallorquín



Fuente: Creación propia

Entre los índices de contaminación por materia orgánica se observa que la mayoría de los puntos monitoreados presentan una alta o muy alta contaminación, presentando la situación más crítica en el punto 1: desembocadura del arroyo León, donde este índice presenta valores de 0,84 en la época de lluvia y 1,00 en época seca, siendo el único punto donde no hubo mejoría de una época a otra, a pesar de que en ambas épocas se obtuvo un nivel de contaminación muy alto.

Como se observa en la Figura 3, los puntos restantes en la época de estiaje o seca, se mantuvieron en un nivel de contaminación alto, con valores en el rango de 0,66 y 0,73, mientras que en la época de lluvia, además del punto de 1: Desembocadura del arroyo León, el punto 6: Villa Mosquito (con valor de 0,87) también alcanzó un nivel de contaminación muy alto, esto se pudo deber a que en la época de lluvia en el punto mencionado se encuentran zonas de asentamiento urbano, por ende posibles descargas de vertimientos al cuerpo de agua.

Estos niveles de contaminación muy altos observados en los puntos 1: Desembocadura del Arroyo León y 6: Villa Mosquito, puede ser producido por la gran concentración de coliformes totales, en consecuencia la concentración de materia orgánica en estos puntos y las características de la marea en el cuerpo de agua de tipo lentic, también se ve afectado por la demanda bioquímica de oxígeno que demostró que en los puntos monitoreados aumentó en la temporada de sequía, producida por que los microorganismos consumen materia orgánica más rápido a una mayor temperatura, y a su vez la proliferación de microorganismos aumenta [23].

Para el caso del punto 1: Desembocadura del arroyo León, donde hubo un aumento en el grado de contaminación al pasar de la época húmeda a la época seca, indicando que se incrementó la cantidad y tipo de materia orgánica en este punto, esto posiblemente es causado por los usos inadecuados que se le dan al recurso (vertimientos de líquidos al arroyo sin tratamiento). Todo esto influye de manera negativa en las condiciones de la fuente hídrica [24].

#### 4.3.2 Índice De Contaminación Por Minerales

A continuación, se presentan los valores del Índice de Contaminación por Minerales (ICOMI) en las mediciones realizadas en la ciénaga de Mallorquín (Tabla 14 y 15).

Tabla 14. Resultados del Índice de Contaminación por minerales en la ciénaga de Mallorquín época húmeda

Parámetro / Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto La Juan	Punto 4: Punto de Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Conductividad	786	13040	11550	13040	11960	14930
ICE	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Dureza total	168,20	768,30	825,50	972,50	920,50	817,60
IDT	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Alcalinidad	200	165	125,8	147	142	141
I <sub>alcalinidad</sub>	0,75	0,58	0,38	0,49	0,46	0,46
<b>ICOMI</b>	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>	<b>0,79</b>	<b>0,83</b>	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>

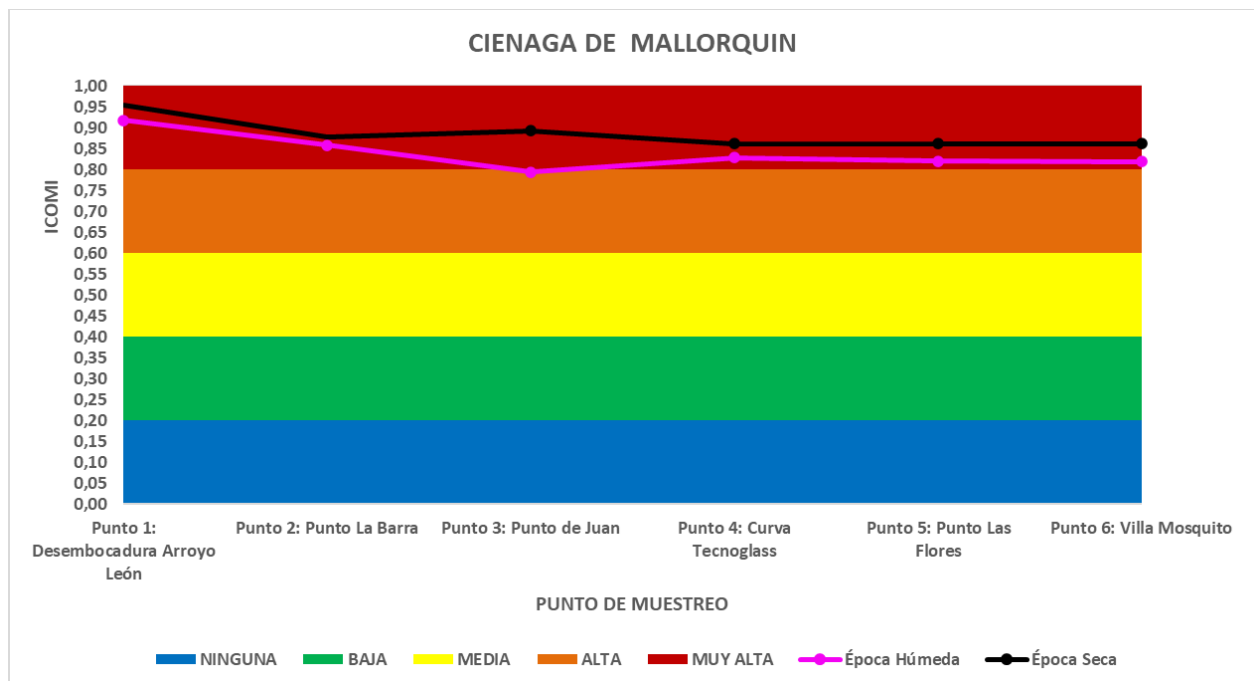
Fuente: Fuente propia

Tabla 15. Resultados del Índice de Contaminación por minerales en la ciénaga de Mallorca época seca

Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto Desembocadur a Arroyo León	1: Punto Punto Barra	2: La Punto de Juan	3: Curva Tecnoglass	4: Punto Punto Flores	5: Punto Las Villa Mosquito	6:
Conductividad	866	15060	13550	14030	13960	15960	
ICE	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Dureza total	173,70	831,20	899,30	965,00	993,20	887,50	
$I_{DT}$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Alcalinidad total	222	176	185,2	167	167	167	
Alcalinidad	0,86	0,63	0,68	0,59	0,59	0,59	
<b>ICOMI</b>	<b>0,95</b>	<b>0,88</b>	<b>0,89</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>

Fuente: Fuente propia

Figura 4. Representación gráfica de los valores de Índice de contaminación por Minerales (ICOMI) en la ciénaga de Mallorca



Fuente: Fuente propia

Para el Índice por contaminación por minerales el cuerpo de agua se fijó en los niveles muy alto de contaminación en ambas mediciones, lo cual puede ser un estado natural del cuerpo de agua, que siendo una ciénaga costera tiene influencia de agua de mar, además de la contribución por los lixiviados generados por el basurero a cielo abierto que se encontraba en uso en las inmediaciones del barrio las flores, así como los vertimientos generados por la comunidad de maneras ilegal hacia la ciénaga.

El valor mínimo de ICOMI se reportó en la época húmeda en el punto 3: Punto de Juan, con 0,79; valor que también puede ser influenciado por la acumulación de materia orgánica en la zona, ayudando a que este tipo de contaminación disminuya. En la época seca o de estiaje este índice de contaminación fue mayor en todos los puntos muestreados, efecto producido por la evaporización del agua produciendo un aumento en la concentración de los analitos presentes en la ciénaga que posean una temperatura de ebullición mayor a la del agua.

#### 4.3.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos

Las tablas 16 y 17 presentadas a continuación, muestra los resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos de acuerdo a las mediciones realizadas en las épocas húmeda y seca, así como en la gráfica subsiguiente muestra la comparación entre las épocas medidas.

Tabla 16. Resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos en la ciénaga de Mallorquín época húmeda

<b>Parámetro/ Identificación punto de muestreo</b>	<b>Punto 1: Desembocadura Arroyo León</b>	<b>Punto 2: Punto La Barra</b>	<b>Punto 3: Punto de Juan</b>	<b>Punto 4: Curva Tecnoglass</b>	<b>Punto 5: Punto Las Flores</b>	<b>Punto 6: Villa Mosquito</b>
SST	120,0	20,29	27,0	36,20	61,60	47,0
ICOSUS	0,34	0,04	0,06	0,09	0,16	0,12

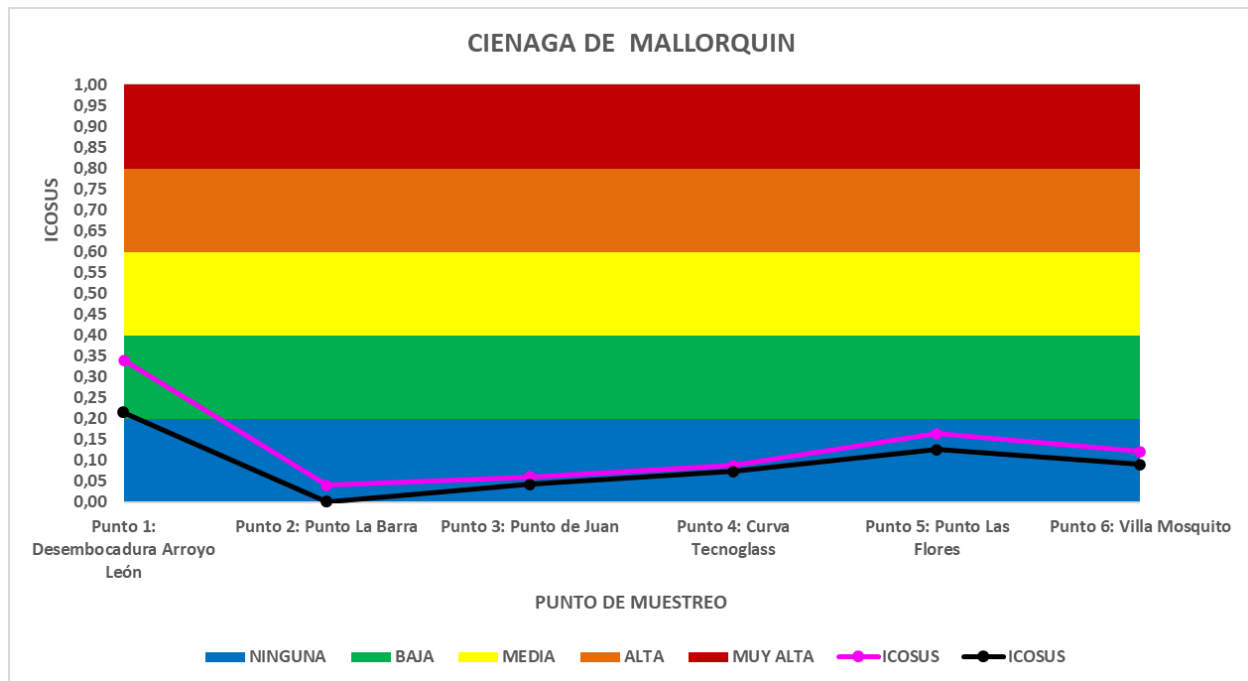
Fuente: Fuente propia

Tabla 17. Resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos en la ciénaga de Mallorquín época seca

Parámetro/ Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
SST	78,60	8,50	21,1	31,30	48,60	36,7
ICOSUS	0,22	0,00	0,04	0,07	0,13	0,09

Fuente: Fuente propia

Figura 5 Representación gráfica de los valores de Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en la ciénaga de Mallorquín



Fuente: Fuente propia

Para las épocas monitoreadas la medición del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos arroja que los niveles de contaminación tienden de baja a ninguna contaminación, producto de la baja cantidad de Sólidos Suspendidos Totales, tal como lo muestra las tablas 16 y 17, y se ilustra en la Figura 5. Donde se observa que la mayor concentración tanto en la época seca como la época de lluvia se presentó en el punto 1: Desembocadura del arroyo León, estos son sólidos arrastrados por el sistema

del arroyo hacia la ciénaga, presentando valores de concentración de 120 mg/L y 78,6 mg/L respectivamente para las épocas húmeda y seca, con ICOSUS de 0,34 y 0,22 respectivamente. Además, la menor concentración para ambas épocas fue en el punto 2: Punto la Barra, con ICOSUS de 0,00 en la época húmeda y 0,04 en la época seca.

#### 4.3.4 Índice de Contaminación Trófico

El Índice de Contaminación Trófico para la ciénaga a nivel general, tanto en época húmeda como en época seca, es de nivel Hipereutrófico (como se observa en las tablas 18 y 19). Esto puede ser causado por el alto nivel de los compuestos de fósforo, que pueden llegar desde las aguas vertidas a la ciénaga, bien sea por medio del mar, el agua del arroyo León, los lixiviados provenientes del botadero del barrio Las Flores, así como los vertimientos líquidos sin tratamientos.

Tabla 18. Resultados del Índice de Contaminación Trófico en la ciénaga de Mallorca época húmeda

<b>Parámetro/ Identificación punto de muestreo</b>	<b>Punto 1: Desembocadura Arroyo León</b>	<b>Punto 2: Punto La Barra</b>	<b>Punto 3: Punto de Juan</b>	<b>Punto 4: Curva Tecnoglass</b>	<b>Punto 5: Punto Las Flores</b>	<b>Punto 6: Villa Mosquito</b>
FOSFORO	3,00	4,51	3,26	3,65	3,4	3,23
ICOTRO	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Fuente: Creación propia

Tabla 19. Resultados del Índice de Contaminación Trófico en la ciénaga de Mallorca época seca

<b>Parámetro/ Identificación punto de muestreo</b>	<b>Punto 1: Desembocadura Arroyo León</b>	<b>Punto 2: Punto La Barra</b>	<b>Punto 3: Punto de Juan</b>	<b>Punto 4: Curva Tecnoglass</b>	<b>Punto 5: Punto Las Flores</b>	<b>Punto 6: Villa Mosquito</b>
FOSFORO	2,86	3,37	3,05	3,00	3,14	3,47
ICOTRO	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Fuente: Creación propia

#### 4.4 CAPACIDAD BUFFER

En las Tablas 20 y 21 se evidencia que el comportamiento del pH no presenta diferencias significativas en los puntos muestreados tanto en la época húmeda como en la época seca.

Tabla 20. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorcaín en época húmeda.

Parámetro/ Id. punto de muestreo	UNIDAD	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Alcalinidad	mg/L	200	165	125,8	147	142	141
[Alcalinidad]	M	0,002	0,00165	0,001258	0,00147	0,00142	0,00141
pH	UpH	7,42	7,53	7,75	7,98	7,96	7,93
[H+]	M	3,80189x10-08	2,95121x10-08	1,77828x10-08	1,04713x10-08	1,09648x10-08	1,1749x10-08
Capacidad Buffer	$\beta$	3,39x10-04	2,27x10-04	1,14x10-04	9,07x10-05	9,03x10-05	9,39x10-05

Fuente: Creación propia

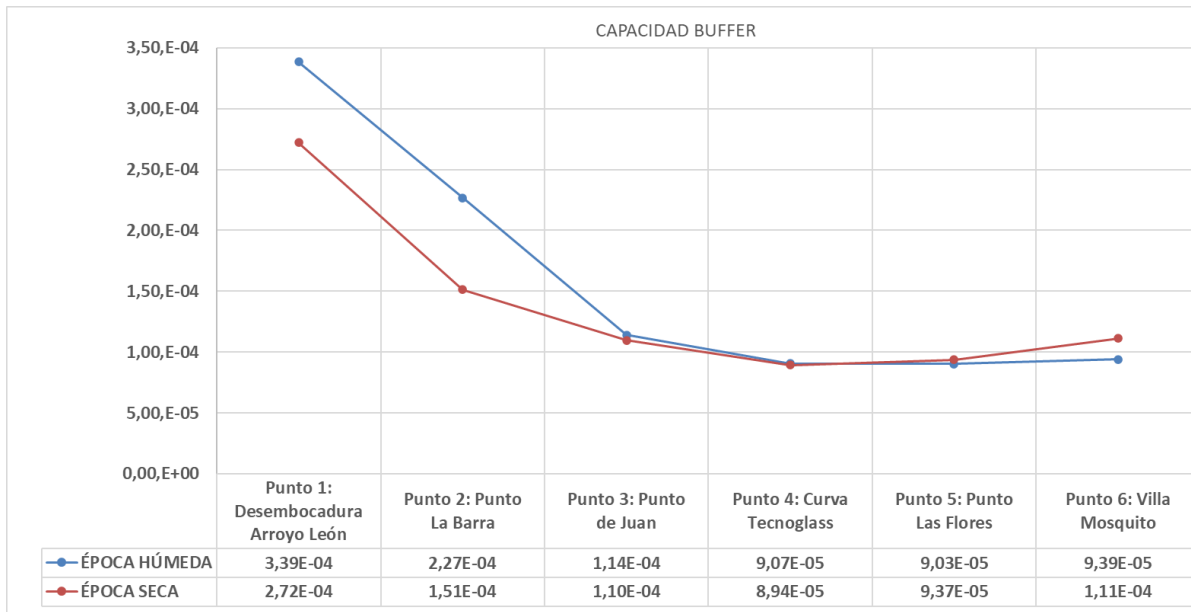
Tabla 21. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorcaín en época seca.

Parámetro/ Id. punto de muestreo	UNIDAD	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglass	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
Alcalinidad	mg/L	222	176	185,2	167	167	167
[Alcalinidad]	M	0,00222	0,00176	0,001852	0,00167	0,00167	0,00167
pH	UpH	7,59	7,78	8,01	8,09	8,05	7,93
[H+]	M	2,5704x10-08	1,65959x10-08	9,77237x10-09	8,12831x10-09	8,91251x10-09	1,1749x10-08
Capacidad Buffer	$\beta$	2,72x10-04	1,51x10-04	1,10x10-04	8,94x10-05	9,37x10-05	1,11x10-04

Fuente: Creación propia



Figura 6. Representación gráfica de los valores de capacidad buffer en la ciénaga de Mallorcaín



Fuente: Creación propia

Aunque la concentración de la alcalinidad en términos de molaridad es pequeña, la capacidad buffer está muy cerca entre los puntos medidos (como se muestra en la Figura 6, Representación gráfica de los valores de capacidad buffer en la ciénaga de Mallorcaín), ayudando a que el cuerpo de agua se pueda reportar como un sistema que tiene suficiente capacidad buffer. Lo que permite a la ciénaga controlar las diferentes variaciones cuando se le agregan sustancias básicas o ácidas, efluentes o lluvia ácida en pequeñas proporciones, manteniéndose estable a los cambios que se puedan producir en pequeñas porciones. La cantidad de alcalinidad en mg/L en los diferentes puntos monitoreados nos indica que las aguas son muy amortiguadas.

La Figura 6 muestra que en los puntos 3: Punto de Juan, 4: Curva de Tecnoglass y 5: Punto de Las Flores; la ciénaga tiene muy cerca la capacidad buffer entre las épocas medidas. En el punto 1: Desembocadura arroyo León se presenta la mayor variación disminuyendo en la época seca cerca del 33%, y la menor variación fue en el punto 3: Punto de Juan con apenas el 3,51%.

Las concentraciones para la alcalinidad son superiores a 20 mg de CaCO<sub>3</sub>/L, por lo que el cuerpo de agua en los puntos monitoreados tiene alta resistencia a las modificaciones que puedan generar disminuciones del pH (acidificación), lo que le permite conservar la vida acuática, así como la fauna de la zona.

#### 4.5 INDICE DE LANGELIER

Para el cálculo del Índice de Langelier se tomaron los valores de las concentraciones de pH, Temperatura, Dureza y Alcalinidad, tal como se muestra en las Tablas 22 y 23, presentadas a continuación

Tabla 22. Resultados del Índice de Langelier de la ciénaga de Mallorquín en época húmeda

Parámetro/Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglas	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
pH	7,42	7,53	7,75	7,98	7,96	7,93
TEMPERATURA	26,0	25,4	25,6	25,7	25,6	26,1
DUREZA	333	7355,6	5712,8	6179	7022,6	6445,4
ALCALINIDAD	200	165	125,8	147	142	141
<b>FACTORES</b>						
TEMPERATURA	0,61	0,59	0,61	0,61	0,61	0,61
DUREZA	2,152	2,608	2,608	2,608	2,608	2,608
ALCALINIDAD	2,309	2,184	2,121	2,184	2,184	2,184
<b>INDICE DE SATURACIÓN</b>						
<b>ISL</b>	<b>0,391</b>	<b>0,812</b>	<b>0,989</b>	<b>1,282</b>	<b>1,262</b>	<b>1,232</b>

Fuente: Creación propia

Tabla 23. Resultados de la Capacidad Buffer de la ciénaga de Mallorquín época seca

Parámetro/Identificación punto de muestreo	Punto 1: Desembocadura a Arroyo León	Punto 2: Punto La Barra	Punto 3: Punto de Juan	Punto 4: Curva Tecnoglas s	Punto 5: Punto Las Flores	Punto 6: Villa Mosquito
pH	7,59	7,78	8,01	8,09	8,05	7,93
TEMPERATURA	25,1	25,4	25,4	25,7	26,0	26,5
DUREZA	384,8	7474	5920	6512	7562,8	7215
ALCALINIDAD	222	176	185,2	167	167	167
<b>FACTORES</b>						
TEMPERATURA	0,59	0,59	0,59	0,61	0,61	0,61
DUREZA	2,21	2,608	2,608	2,608	2,608	2,608
ALCALINIDAD	2,309	2,309	2,309	2,184	2,184	2,184
<b>INDICE DE SATURACIÓN</b>						
<b>ISL</b>	<b>0,599</b>	<b>1,187</b>	<b>1,417</b>	<b>1,392</b>	<b>1,352</b>	<b>1,232</b>

Fuente: Creación propia

El Índice de Langelier para los puntos monitoreados tanto para la época húmeda como para la época seca son mayores a 0, es decir que se encuentra saturada por la combinación de carbonatos y bicarbonatos, hasta llegar a ser un tipo de agua incrustante debido a que el  $\text{CaCO}_3$  se llega a depositar en los suelos de los alrededores del cuerpo de agua, tal como se observan en las Tablas 22 y 23. El punto 1: Desembocadura del arroyo León, en la época húmeda es donde se puede llegar a formar leves incrustaciones en el suelo; los puntos restantes, así como la época seca pueden llegar a presentar incrustaciones de manera severa sobre el suelo, todo esto producido por las características mismas del cuerpo de agua.

## 5. CONCLUSIONES

Con base a las investigaciones de campo y los resultados analíticos obtenidos se puede concluir que el Índice de la Calidad del agua calculado en la ciénaga de Mallorquín, están en la categoría MUY MALO y MALO, indicando que el comportamiento de la ciénaga se encuentra entre PESIMO e INADECUADO, esto está influenciado por la descarga directa del arroyo León sobre la ciénaga, y los vertimientos arrojados a la ciénaga. Estos resultados se confirman con lo ilustrado en los Índices de Contaminación ICO's, donde a excepción del ICOSUS; el ICOMO, ICOMI, y el ICOTRO, se reportaron en niveles de alto y muy alto.

A manera particular se observó que las variables pH y temperatura medidos en las estaciones, indican condiciones fisicoquímicas adecuadas para los usos establecidos para todos los cuerpos de agua, es decir, tanto para usos agrícola como para la preservación de la flora y fauna.

La capacidad buffer revela que, a pesar de la contaminación, el cuerpo de agua aún puede ser un gran amortiguador, ayudando a mantener la fauna y flora de la zona.

Por último, el Índice de Langelier concluye que el cuerpo de agua presenta agua fuertemente incrustante para los suelos de la zona.

Durante esta investigación se observó que, aunque el cuerpo de agua presenta una leve mejoría en la época húmeda, el cuerpo de agua no refleja un cambio significativo para bien durante las distintas épocas del año.

## 6. RECOMENDACIONES

A partir de la experiencia adquirida durante el tiempo de estudio se realizan las siguientes recomendaciones:

- Realizar un monitoreo continuo, teniendo en cuenta los sectores donde se encontraron los niveles más alto de contaminación.
- Monitorear las aguas provenientes del arroyo León y del río Magdalena que desembocan en la ciénaga de Mallorquín.
- Delimitar una ronda hídrica a la laguna, el cual le permita tener a la población ribereña a una distancia para mitigar los impactos generados por sus actividades.
- Se recomienda realizar un cese a las actividades recreativas como pesca y baño en la ciénaga hasta que las concentraciones y los índices estudiados obtengan un mejor nivel de contaminación

## 7. BIBLIOGRAFIA

[1] IDEAM, Estudio Nacional Del Agua, Bogotá D.C.: Panamericana formas e impresos s.a., 2018

[2] CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO, Plan De Ordenamiento Y Manejo De La Cuenca Hidrográfica De La Ciénaga De Mallorquín, Barranquilla, 2006.

[3] Benavides B, Luis J. Análisis de la influencia de la calidad del agua del arroyo León en la calidad del agua de la ciénaga de Mallorquín, Barranquilla, 2019.

[4] Arenas-Palomino Dianis; Serje-Ahumada Nadya. Variación de la calidad del agua de la ciénaga de la virgen de Cartagena producto de la implementación del emisario submarino, Cartagena de Indias, 2015.

[5] CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA., Decreto 1076 de 2015 Bogotá D.C., 2015.

[6] Bayona S., Fabián E., Análisis multitemporal de los ecosistemas de manglar presentes en la ciénaga de Mallorquín, departamento del Atlántico, Bogotá D.C., 2018.

[7] Fuentes F. Pinedo J. Marrugo J; Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia, Barranquilla, 2018.

[8] Ramírez A., Restrepo R. y Viña G., Cuatro Índices de Contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación, 1997.

[9] Ramírez A., Restrepo R. y Cardeñosa C. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos, Formulaciones, 1999.

[10] Castellanos R. Karina, Evaluación de la calidad del agua en sistemas lénticos mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores, Cartagena de Indias. 2009.

[11] Basílico, Gabriel O. Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana, Buenas Aires, Argentina, 2015.

[12] Goenaga N. Jenifer P., Martínez C. Ana C., Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el corregimiento de La Peña- Atlántico y determinación del riesgo potencial para la salud humana. Barranquilla, 2017.

[13] Benavides C. Julián A., Determinación del Índice de Calidad de Playas- BQI (Beach Quality Index) en tres playas del Atlántico (Caño Dulce, Puerto Velero y Salgar). Barranquilla, 2017.

[14] Martínez G. Jasser, Evaluación del índice de calidad del agua en el municipio de Mahates y los corregimientos de San Joaquín, Malagana, Mandinga y San Basilio de Palenque (Bolívar). Cartagena de Indias 2017.

[15] Caho- Rodríguez Carlos A., López-Barrera Ellie A., Determinación del Índice de Calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI., Bogotá D.C., 2017.

[16] Garbagnati Marcela A., González Patricia S. Antón Rosa I., Mallea Miguel A., Características fisicoquímicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del río Grande, San Luis, Argentina. San Luis, Argentina, 2005.

[17] Chavarro, Andrés G. Gelvéz B., Elvia J., Caracterización de la calidad de las aguas de la Quebrada Fucha utilizando los Índices de Contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo., Bogotá D.C., 2016.

[18] Torres, César. Aplicación del método numérico MOHID para el estudio hidrodinámico y de transporte de la ciénaga de Mallorquín, Barranquilla, 2015.

[19] IDEAM, Formato común hoja metodológica Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA), Bogotá, 2011.

[20] Margalef R, Limnología de Limnología, Barcelona, Omega, 1998 p.15.

[21] DRA., Guía para la utilización de las valijas viajeras- Determinación de Alcalinidad., 2007.



[22] Rodríguez Silvia C., Yfran E. María de M, Sebastián F. Leonardo, Caracterización del agua de riego en explotaciones hortícolas de Saladas, provincia de Corrientes, República Argentina; provincia de Corrientes República Argentina, Lima Argentina, 2019

[23] Sánchez G., Cristhian D., Análisis espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos de la Quebrada las Delicias, Cerros Orientales de Bogotá D.C., 2019.

[24] Piedrahita V. Juan E., Análisis del Índice de Calidad de agua (ICA) e Índice de Contaminación del agua (ICO's) en Quebrada Villa ubicada en El Bagre, Antioquia, Bogotá D.C., 2018.